

Universitat Politècnica de Catalunya

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona

Modelo de optimización de precios en la comercialización de gas natural a clientes industriales en un mercado europeo genérico

Anexo: Modelo completo

Sergi Grumé Mallol

Abril 2012

En la memoria del proyecto se ha presentado el modelo separado por módulos, con comentarios para facilitar su comprensión. En el presente anexo se presenta el modelo completo

Conjuntos

p	Perfiles de consumo de los clientes
z	Zonas de equilibrio del mercado
m	Meses en los que se va a optimizar
a	Años en los que se va a optimizar
K	Cortes de las rectas de aproximación a la curva de ingreso

Parámetros

Se define los enteros N_p , N_z , N_m , N_a y N_k como el número de perfiles, zonas, meses, años y cortes en cada conjunto.

$QCZ_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh/mes	Cantidad de energía comprometida actualmente en cada mes, en la zona z . Este parámetro de entrada se establece como cero para cada mes y cada zona en el caso de no disponer de cartera contratada. En caso de existir ya cartera contratada, se deben definir las cantidades ya contratadas para cada mes y cada zona.
$QMP_{m,p} \in \mathbb{R}^+$	GWh/mes	Perfiles mensualizados. El total del año corresponde a 100 GWh año, con el reparto de cada mes en función del perfil.
$QTAMIN \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía mínima que se debe contratar al año
$QTAMAX \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía máxima que se debe contratar al año
$QTMIN \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía mínima que se debe contratar al mes
$QTMAX \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía máxima que se debe contratar al mes
$InK_{p,m,z,k} \in \mathbb{R}^+$		Ingreso adicional por perfil, mes y zona en el corte k .
$Der_{p,m,z,k} \in \mathbb{R}^+$		Derivada de la función de ingreso en el corte k .
$APk_{p,m,z,k} \in \mathbb{R}^+$		Corte k .
$PreMer_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€/GWh	Precio medio del mercado organizado, para cada mes “ m ” y cada zona “ z ”.
$SprBid \in \mathbb{R}^+$	k€/GWh	Spread Bid/Mid
$SprAsk \in \mathbb{R}^-$	k€/GWh	Spread Ask/Mid (valor negativo)
$FUCIE_{m,z} \in \mathbb{R}^+ - \{0,1\}$	-	Factor de utilización de las conexiones internacionales en el sentido de entrada a la zona “ z ” en el mes “ m ”.
$FUCIS_{m,z} \in \mathbb{R}^+ -$	-	Factor de utilización de las conexiones internacionales en el

$\{0,1\}$		sentido de salida de la zona “z” en el mes “m”.
$BCI_{m,z} \in \mathbb{R}$	GWh	Balance de energía en concepto conexiones internacionales, por cada mes “m” y cada zona “z”.
$CCI_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Coste asociado a las conexiones internacionales.
$ICI_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Ingreso asociado a las conexiones internacionales.
$TCCZE_{m,zi,zf} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Capacidades contratadas en concepto de conexiones entre zonas para cada mes “m”. Se define mediante una zona de inicio (zi) y una zona de fin (zf).
$PeajeCZ \in \mathbb{R}^+$	k€/GWh	Precio del peaje de las conexiones entre zonas.
$QCompCom_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía total que entra en cada zona en cada mes en concepto de compras a otras comercializadoras.
$PreCompCom_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€/GWh	Precio al que se compra el gas a la comercializadora vendedora.
$TBar \in \mathbb{R}^+$	GWh	Capacidad en GWh de los buques metaneros Se supone en este caso que todos los barcos a los que tiene acceso la comercializadora tienen la misma capacidad. La capacidad de los buques se suele medir en m ³ de GNL, aunque para simplificar se convierte ese volumen en energía que se puede entregar en el sistema.
$PreBar_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€/GWh	Precio del gas que lleva el buque. El precio se da en realidad en €/m3, aunque para simplificar el modelo se da ya en €/MWh, al ser las unidades que se utilizan en los demás módulos.
$PeajeBar \in \mathbb{R}^+$	k€/GWh	Coste de descargar el buque, regasificar el gas e inyectarlo en el sistema.
$NBarM$	-	Número máximo de buques al mes en cada zona
$NBarA$	-	Número máximo de buques al año en cada zona
$Inventario \in \mathbb{R}^+$	GWh	Existencias iniciales de gas almacenada en los almacenamientos subterráneos.
$CVAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€/GWh	Coste variable de almacenar gas, por cada MWh que se almacena durante un mes en los almacenamientos subterráneos.
$TAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Capacidad contratada de almacenamiento subterráneo para cada mes y cada zona. En caso de tener contratada capacidad en más de una instalación en una zona determinada, se deberá agregar al total de la zona.

$TMINAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad mínima de energía a almacenar en una zona y mes dados, por seguridad de suministro.
$TIAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Capacidad contratada de inyección de energía en los almacenamientos subterráneos para cada mes y cada zona.
$TEAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Capacidad contratada de extracción de energía de los almacenamientos subterráneos para cada mes y cada zona.
$preAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Precio de la energía almacenada. Este precio será en general el precio del mercado.

Variables de decisión:

$QTZM_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh/mes	Cantidad total de energía a comprometer en el mes m y en la zona z
$QTZA_{a,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh/mes	Cantidad total de energía a comprometer en cada zona del sistema en cada año a
$QT_m \in \mathbb{R}^+$	GWh/mes	Cantidad total de energía a comprometer en el sistema que se optimiza en cada mes m
$QTA_a \in \mathbb{R}^+$	GWh/mes	Cantidad total de energía a comprometer en el sistema que se optimiza en cada año a.
$AP_{p,z} \in \mathbb{R}\{0,1\}$	-	Factor de multiplicación de cada perfil.
$ingresoAdEnePMZ_{p,m,z} \in \mathbb{R}$	K€	Ingreso adicional por energía vendida a clientes, por perfil, mes y zona
$ingresoAdEneMZ_{m,z} \in \mathbb{R}$	K€	Ingreso adicional por energía vendida a clientes, por mes y zona
$ingresoBaseEneMZ_{m,z} \in \mathbb{R}$	K€	Ingreso de base por energía vendida a clientes, por mes y zona.
$IE_{p,z} \in \mathbb{R}$	K€	Ingreso total por energía vendida a clientes por mes y zona
$QMerC_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía a comprar en el mes “m” y la zona “z”
$QMerV_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía a vender en el mes “m” y la zona “z”
$BM_{m,z} \in \mathbb{R}$	GWh	Balance de energía en concepto de compras y ventas en el mercado, por cada mes “m” y cada zona “z”.
$CM_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Coste asociado a las compras y ventas en el mercado.
$IM_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Ingreso asociado a las compras y ventas en el mercado.
$FUCIE_{m,z} \in \mathbb{R}^+\{0,1\}$	-	Factor de utilización de las conexiones internacionales en

		el sentido de entrada a la zona “z” en el mes “m”.
$FUCIS_{m,z} \in \mathbb{R}^+ \{0,1\}$	-	Factor de utilización de las conexiones internacionales en el sentido de salida de la zona “z” en el mes “m”.
$BCI_{m,z} \in \mathbb{R}$	GWh	Balance de energía en concepto conexiones internacionales, por cada mes “m” y cada zona “z”.
$CCI_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Coste asociado a las conexiones internacionales.
$ICI_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Ingreso asociado a las conexiones internacionales.
$FUCZ_{m,zi,zf} \in \mathbb{R}^+ \{0,1\}$	-	Factor de utilización de las conexiones entre zonas. Se define para cada mes, y cada conexión, entendiendo una conexión como una zona de salida y otra de entrada.
$BCZf_{m,zf} \in \mathbb{R}$	GWh	Energía que llega a cada zona a través de una conexión entre zonas cada mes.
$BCZi_{m,zi} \in \mathbb{R}$	GWh	Energía que sale de cada zona a través de una conexión entre zonas cada mes.
$BCZ_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Balance de la energía que entra y sale de cada zona en cada mes.
$CCI_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Coste asociado a las conexiones entre zonas.
$ICI_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Ingreso asociado a las conexiones internacionales.
$LleBar_{m,z} \in \mathbb{N}^+$	-	Cantidad de barcos que llegan a cada zona en cada mes.
$LleBarA_{a,z} \in \mathbb{N}^+$	-	Cantidad de barcos que llegan a cada zona en cada año.
$BBar_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Balance de energía en concepto de barcos. En este caso, al no considerarse salidas de barcos, esta variable será siempre positiva.
$CBar_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Coste de la llegada de barcos, incluyendo tanto el precio del GNL como los costes de regasificación e inyección en el sistema.
$FUIAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	-	Factor de utilización de la capacidad de inyección contratada.
$FUEAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	-	Factor de utilización de la capacidad de extracción contratada.
$BAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Balance de energía en concepto de almacenamientos subterráneos.
$QAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	GWh	Cantidad de energía almacenada en almacenamientos subterráneos por mes y zona.
$CAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Coste del gas que se inyecta en los almacenamientos

subterráneos (que se extrae del sistema).

$IAASS_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Ingreso virtual por el gas que se extrae de los almacenamientos subterráneos y se inyecta al sistema. Se considera que es un ingreso para poder valorar el gas que inyecta al sistema.
$coste_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Coste de todos los aprovisionamientos para cada mes y zona.
$ingreso_{m,z} \in \mathbb{R}^+$	k€	Ingreso obtenido en cada mes y cada zona.
$costetotal$	k€	Coste total para todos los meses y zonas.
$ingresototal$	k€	Ingreso total para todos los meses y zonas.
mg	k€	Margen total

Ecuaciones

$$QT_m = \sum_{z=1}^{Nz} QTZM_{m,z} \quad \forall m \quad (1.1)$$

$$QTZA_{a,z} = \sum_{m=(a-1)*12}^{a*12} QTZM_{m,z} \quad \forall z \quad (1.2)$$

$$QTA_a = \sum_{m=(a-1)*12}^{a*12} QT_m \quad (1.3)$$

$$QTZM_{m,z} = \sum_p AP_{p,m,z} \times QMP_{p,m,z} \quad \forall m, z \quad (1.4)$$

$$AP_{p,m,z} = AP_{p,m-1,z} \quad \forall m \neq n * 12 \quad (1.5)$$

$$ingresoBaseEneMZ_{m,z} = PreMer_{m,z} \times QTZM_{m,z} \quad (1.6)$$

$$ingresoAdEneMZ_{m,z} = \sum_p ingresoAdEnePMZ_{p,m,z} \times QMP_{p,m,z} \quad \forall m, z \quad (1.7)$$

$$ingresoAdEnePMZ_{p,m,z} \leq InK_{p,m,z,k} + Der_{p,m,z,k} \times (AP_{p,m,z} - APk_{p,m,z,k}) \quad \forall k \quad (1.8)$$

$$BM_{m,z} = QMerC_{m,z} - QMerV_{m,z} \quad (2.1)$$

$$CM_{m,z} = QMerC_{m,z} \times (SprBid + PreMer_{m,z}) \quad (2.2)$$

$$IM_{m,z} = QMerV_{m,z} \times (SprBid + PreMer_{m,z}) \quad (2.3)$$

$$BCI_{m,z} = FUCIE_{m,z} \times TCCIE_{m,z} - FUCIS_{m,z} \times TCCIS_{m,z} \quad (3.1)$$

$$CCI_{m,z} = FUCIE_{m,z} \times TCCIE_{m,z} \times (CVCIE_{m,z} + CVCIE_{m,z}) \quad (3.2)$$

$$ICI_{m,z} = FUCIS_{m,z} \times TCCIS_{m,z} \times (-CVCIS_{m,z} + CVCIS_{m,z}) \quad (3.3)$$

$$BCZf_{m,z} = \sum_{zi=1}^{Nz} FUCZ_{m,zi,zf} \times TCCZE_{m,zi,zf} \quad (4.1)$$

$$BCZi_{m,z} = - \sum_{zf=1}^{Nz} FUCZ_{m,zi,zf} \times TCCZE_{m,zi,zf} \quad (4.2)$$

$$BCZ_{m,z} = BCZf_{m,z} + BCZi_{m,z} \quad (4.3)$$

$$CCZ_{m,z} = PeajeCZ \times BCZ_{m,z} \quad (4.4)$$

$$BBar_{m,z} = TBar \times LleBar_{m,z} \quad (6.1)$$

$$CBar_{m,z} = TBar \times LleBar_{m,z} \times (PeajeBar + PreBar_{m,z}) \quad (6.2)$$

$$LleBarA_{a,z} = \sum_{m=(a-1) \times 12}^{a \times 12} LleBar_{m,z} \quad (6.3)$$

$$BAASS_{m,z} = FUEAASS_{m,z} \times TEAASS_{m,z} - FUIEAASS_{m,z} \times TIAASS_{m,z} \quad (7.1)$$

$$QAASS_{m,z} = QAASS_{m-1,z} - FUEAASS_{m,z} \times TEAASS_{m,z} + FUIEAASS_{m,z} \times TIAASS_{m,z} \quad (7.2)$$

$$QAASS_{1,z} = Inventario - FUEAASS_{1,z} \times TEAASS_{1,z} + FUIEAASS_{1,z} \times TIAASS_{1,z} \quad (7.3)$$

$$CAASS_{m,z} = (CVAASS_{m,z} + preAASS_{m,z}) \times FUIAASS_{m,z} \times TIAASS_{m,z} \quad (7.4)$$

$$IAASS_{m,z} = (-CVAASS_{m,z} + preAASS_{m,z}) \times FUEAASS_{m,z} \times TEAASS_{m,z} \quad (7.5)$$

$$QTZM_{m,z} = BM_{m,z} + BCI_{m,z} + BCZ_{m,z} + QCompCom_{m,z} + BBar_{m,z} + BAASS_{m,z} \quad (8.1)$$

$$ingreso_{m,z} = IE_{m,z} + IM_{m,z} + IAASS_{m,z} \quad (8.1)$$

$$coste_{m,z} = CM_{m,z} + CCI_{m,z} + CCZ_{m,z} + PreCompCom_{m,z} \times QCompCom_{m,z} + CBar_{m,z} + CAASS_{m,z} \quad (8.2)$$

$$costetotal = \sum_{m=1}^{Nm} \sum_{z=1}^{Nz} coste_{m,z} \quad (8.3)$$

$$ingresototal = \sum_{m=1}^{Nm} \sum_{z=1}^{Nz} ingreso_{m,z} \quad (8.4)$$

Restricciones

$$QTZM_{m,z} \geq QCZ_{m,z} \quad (1.9)$$

$$QTA_a \geq QTAMIN \quad (1.10)$$

$$QTA_a \leq QTAMAX \quad (1.11)$$

$$QT_m \geq QTMIN \quad (1.12)$$

$$QT_m \leq QTMAX \quad (1.13)$$

$$FUCIE_{m,z} \geq 0 \quad (3.1)$$

$$FUCIE_{m,z} \leq 1 \quad (3.2)$$

$$FUCIS_{m,z} \geq 0 \quad (3.3)$$

$$FUCIS_{m,z} \leq 1 \quad (3.4)$$

$$FUCZ_{m,zi,zf} \geq 0 \quad (4.1)$$

$$FUCZ_{m,zi,zf} \leq 1 \quad (4.2)$$

$$LleBar_{m,z} \leq NBarM \quad (6.1)$$

$$LleBarA_{a,z} \leq NBarA \quad (6.2)$$

$$QAASS_{m,z} \leq TAASS_{m,z} \quad (7.1)$$

$$QAASS_{m,z} \geq TMINAASS_{m,z} \quad (7.2)$$

$$FUIAASS_{m,z} \leq 1 \quad (7.3)$$

$$FUEAASS_{m,z} \leq 1 \quad (7.4)$$

Función a optimizar

$$mg = ingresototal - costetotal \quad (9.1)$$

$$\max \quad mg \quad (10.1)$$